

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт неразрушающего контроля

Направление подготовки **11.03.04** Электроника и нанoeлектроника

Кафедра промышленной и медицинской электроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы	
Исследование электрических характеристик источников термоэлектродвижущей силы	

УДК 620.172.21

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM41	Обач Игорь Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Солдатов Андрей Алексеевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Чистякова Н.О.	к. э. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры; понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; демонстрировать навыки работы в научном коллективе, порождать новые идеи;
P2	Анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников; определять цели, осуществлять постановку задач проектирования приборов нанoeлектроники, схем и устройств различного функционального назначения с использованием современной элементной базы нанoeлектроники, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ
P3	Формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.
P4	Осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени; разрабатывать физические и математические модели элементов нанoeлектроники, компьютерное моделирование исследуемых физических процессов, приборов, схем и устройств, относящихся к профессиональной сфере
P5	Делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научно-технические отчеты, обзоры, рефераты, публикации по результатам выполненных исследований, доклады на научные конференции и семинары, научные публикации в центральных изданиях и заявки на изобретения
P6	Работать в качестве преподавателя в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования по учебным дисциплинам предметной области данного направления под руководством профессора, доцента или старшего
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень. Самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности
P8	Использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов. Участвовать в проведении технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта
P9	Разрабатывать планы и программы инновационной деятельности в подразделении, проявлять инициативу, в том числе в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности
P10	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов
P11	Обладать способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Ф.А.Губарев
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1AM41	Обач Игорь Игоревич

Тема работы:

Исследование электрических характеристик источников термоэлектродвижущей силы
Утверждена приказом проректора-директора ИНК № 2942/с от 15.04.2016 г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	Исследование электрических характеристик источников термоэлектродвижущей силы на примере термопар хромель-алюмель, нихром-константан и их параллельное соединение
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение Обзор литературы Объект и методы исследования Расчеты и аналитика Экспериментальные исследования Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение Социальная ответственность Заключение.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Принципиальная и структурная схема прибора «Термотест», результаты экспериментальных и теоретических исследований.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Чистякова Н.О.
«Социальная ответственность»	Анищенко Ю.В.
Приложение А (Раздел выполненный на английском языке)	Мыльникова Т.С.
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
Обзор литературы	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Солдатов Андрей Алексеевич	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ41	Обач Игорь Игоревич		

Реферат

Диссертация состоит из введения, шести частей, заключения, содержит 107 страниц основного машинописного текста, список используемых источников состоит из 47 наименований, 43 рисунков, 52 таблиц.

Ключевые слова: исследование, термopapa, термоЭДС, «Термотест», неразрушающий контроль, дестабилизирующие факторы внутренние сопротивление, хромель-алюмель, нихром-константан.

Объектом исследования является измерительные электроды.

Цель работы: Исследовать электрические характеристики термоэлектродвижущей силы.

В процессе исследования проводилось: изучение литературы по данной теме, анализ существующих приборов измеряющие термоЭДС, выявление преимуществ и их недостатков, измерение термоЭДС термopap в параллельном и одиночном включение, построение математической модели.

В результате исследования были: изучены электрические характеристики термopap, построена математическая модель термopap, предложено решение для улучшения точности регистрации сигнала, прибором «Термотест».

Степень внедрения: средняя.

Область применения: Потенциальными потребителями прибора являются все производители продукции из металлов или металлических сплавов (машиностроительные предприятия, инструментальные заводы, ремонтные предприятия, подшипниковая промышленность и т.п.).

Экономическая эффективность/значимость работы: внедрение данного проекта на рынок целесообразно, а устройство конкурентоспособно. Оно повысит точность выполняемых работ, а также обладают лучшими характеристиками, позволяющими измерять более точную термоЭДС.

В будущем планируется усовершенствовать прибор «Термотест».

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Применены следующие термины с соответствующими определениями:

ТермоЭДС — явление возникновения ЭДС в замкнутой электрической цепи, состоящей из последовательно соединённых разнородных проводников, контакты между которыми находятся при различных температурах. [1]

Термотест — прибор неразрушающего экспресс-контроля металлов и сплавов.

Термопара устройство, применяемое в промышленности, научных исследованиях, медицине, в системах автоматики. Применяется, в основном, для измерения температуры.

Неразрушающий контроль— контроль надежности основных рабочих свойств и параметров объекта или отдельных его элементов/узлов, не требующий выведения объекта из работы либо его демонтажа. [3]

Дефект— несоответствие продукции, установленное техническим регламентом.

Использованы следующие сокращения с соответствующими расшифровками:

НК –неразрушающий контроль;

МК – микроконтроллер;

ЭДС–скалярная физическая величина, характеризующая работу сторонних сил;

ГОСТ– государственный стандарт.

Оглавление

Введение.....	8
Глава.1 Неразрушающие методы контроля.....	11
1.1 Магнитный метод неразрушающего контроля	13
1.2 Ультразвуковой метод неразрушающего контроля.....	14
1.3 Рентгеновский метод неразрушающего контроля.	17
1.4 Тепловой метод	20
1.5.Термоэлектрический метод неразрушающего контроля.	22
Методы сортировки изделий	24
Глава 2. Приборы термоэлектрического контроля.	27
2.1.Термоэлектрический анализатор металлов и сплавов ТАМИС	32
2.2. Прибор ТЭС-4 с дифференциальным датчиком.	33
2.3. Термоэлектрический прибор Т-3СП	35
2.4. Термоэлектрический сортировщик металлов и сплавов - ТЕ-3000.	36
Глава 3. Объект исследования	39
Прибор «Термотест».....	39
Дестабилизирующие факторы	42
Контроль металлов и сплавов методом дифференциальной термоэлектродвижущей силы	42
Методика исследование термоЭДС	48
Расчёты и аналитика.	49
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	55
Глава 5. Социальная ответственность.....	73
Заключение	89
Список публикация.....	90
Список использованных источников	91
Приложение А	95

Введение

Неразрушающий контроль дает возможность проверить качество деталей до вовлечения их в сборку и тем самым не допустить использования бракованных деталей в конструкциях машин и, следовательно, предотвратить аварии и катастрофы. Неразрушающий контроль качества металлов и сплавов выполняют с использованием магнитной, ультразвуковой и рентгеновской дефектоскопии, а также других методов контроля. Однако перечисленные методы имеют ограниченное применение и не всегда позволяют точно определить место возникновения деформированных участков.

Наличие неоднородностей в металлах и сплавах, например, дефекты кристаллической решетки и упругих напряжений, наряду с дефектами после термической обработки, такими как разнородность твердости по объему детали, называемую пятнистостью, и, уже заложенными дефектами литья оказывают сильное влияние на прочностные характеристики материала и, соответственно, на долговечность детали.

Наиболее эффективным является термоэлектрический метод, который позволяет проводить неразрушающий экспресс-контроль качества термической обработки не только в процессе обработки, но и при эксплуатации. Однако, все современные исследования неразрушающим контролем основаны на предположении, что характер контакта между поверхностью образца и электродами является одноточечным, что не позволяет из-за локального разброса химического состава образца и ряда других факторов получить высокой повторяемости результатов контроля. В реальных условиях контакт является многоточечным, следовательно, необходимо учитывать ряд параметров поверхности и контакта, которые определяют достоверность данных контроля, такие как площадь соприкосновения, шероховатость поверхности и т.д.

В последнее время термоэлектрический контроль приобретает особую популярность. В связи с тем, что на его основе можно проводить не только локализацию дефекта, но и проводить сортировку готовой продукции без

разрушения материала. Так на кафедре Промышленной и Медицинской Электроники Национального Исследовательского Томского Политехнического Университета был разработан прибор «Термотест» предназначенный для контроля металлов и сплавов методом дифференциальной термоэлектродвижущей силы.

При ручном контроле металлоизделий существуют ряд факторов, которые вносят погрешность в результат измерения, например, установление теплового контакта электродов с образцом, нелинейная характеристика источника термоэлектродвижущей силы. Принимая во внимание эти факторы, точность измерений увеличиться и в дальнейшем прибор станет более конкурентоспособным.

Целью данной работы является исследование электрических характеристик источников термоэлектродвижущей силы.

Для достижения поставленных целей необходимо решить ряд задач:

- Исследовать термопары при изменении температуры и разном сопротивлении нагрузки
- Построить математическую модель
- Предложить способ учёта электрических характеристик источников термоэлектродвижущей силы, для увеличения точности измерения прибора «Термотест» .

Научная новизна.

Впервые исследованы и обработаны электрические характеристики источников термоэлектродвижущей силы.

Защищаемые положения.

Возникновение многоточечности и влияние на показания прибора.

Термопары имеют одинаковые характеристики, но разную мощность сигнала.

Максимальная мощность будет наблюдаться при сопротивлении нагрузки в 1 кОм.

Апробация результатов исследований.

Материалы, вошедшие в диссертацию, доложены и обсуждены на следующих конференциях:

1. на VII Научно-практической конференции «Информационно-измерительная техника и технологии» с международным участием, г. Томск 2016 г.;
2. на IV Всероссийском молодежном форуме с международным участием «Инженерия для освоения космоса», г. Томск 2016 г.;
3. на VI Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность», г. Томск 2016 г.;

Публикации.

Основное содержание диссертации опубликовано в 4 статьях, материалах и тезисах 4 докладов, список которых приведен в конце диссертации.

Глава.1 Неразрушающие методы контроля.

В современном мире качество выпускаемой продукции является одним из важнейших драйверов развития предприятия. Поэтому в работе предприятия на одно из лидирующих мест выдвигаются вопросы о качестве выпускаемой продукции. Для контроля качества сырья и выпускаемой продукции создаются отделы, занимающиеся вопросами качества сырья и несоответствием выпускаемой продукции, которое приводит в итоге к уменьшению конкурентоспособности. Входной контроль помогает не только сохранить репутацию компании, но и как в следствии предотвращает аварии, связанные с нарушением сборки или наличием дефектов механизмов. Такой контроль позволяет обеспечить долговечность и безотказность машин, приборов или конструкций на долгие годы.

Любое несоответствие продукции, установленное техническим регламентом называют дефектом. Дефекты разделяют на скрытые и явные, которые обнаруживаются предусмотренными методами и средствами контроля. Их также разделяют на критические, значительные и малозначительные. Использование продукции, имеющей критические дефекты, невозможно, значительные дефекты оказывают существенное влияние на возможность и долговечность эксплуатации продукции. Неразрушающий контроль призван помочь в выявлении дефектов и не соответствии комплектующих.

С помощью неразрушающего контроля можно определить надежность основных рабочих параметров и характеристик объекта без его демонтажа. Что в существенной степени позволяет сохранить время и деньги в любом производстве. Особенно важен неразрушающий контроль при разработке и использовании жизненно важных деталей, механизмов и компонентов. [3].

Разрушающий контроль это, например, краш-тесты автомобилей. [2] Разрушающий контроль весьма экономически затратный и приводит исследуемую деталь к невозможности использования в дальнейшем. Поэтому этот вид контроля в работе рассмотрен не будет.

Основные методы, используемые в неразрушающем контроле качества металлов и сплавов являются:

- магнитный;
- ультразвуковой;
- рентгеновский;
- термоэлектрический.
- тепловой

Существующие методы для сортировки металлов и сплавов

- Химический анализ
- Спектральный анализ
- Рентгенофлуоресцентный анализ
- Искровой

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что необходим прибор имеющей лучшее соотношение цены и качества контроля дефектов со способностью сортировки металлов и сплавов. Поэтому, нужно провести анализ существующих методов исследования на наличие дефектов и способах сортировки. Выявить их достоинства и недостатки.

1.1 Магнитный метод неразрушающего контроля

Под действием механических напряжений (внешних или внутренних) проявляется не только термоупругий эффект и АЭ, но и изменяются параметры петли гистерезиса и кривой намагничивания. Соответственно изменяются магнитные характеристики металла на рис1.:

- магнитная проницаемость (начальная и максимальная);
- величина остаточной намагниченности;
- коэрцитивная сила;
- магнитострикция;

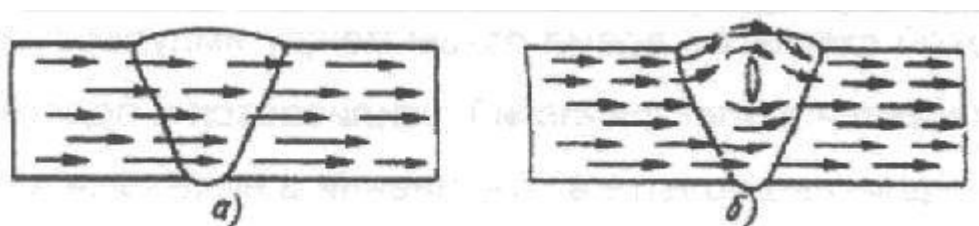


Рис.1. Прохождение магнитного силового потока по сварочному шву:
а - без дефекта; б - с дефектом

- К недостаткам метода следует отнести сильную зависимость от температуры и незначительный гистерезис. Фазовый состав металла, наличие обезуглероженного слоя также влияют на чувствительность метода. Кроме того, метод практически не позволяет контролировать напряжения сдвига, т.к. имеет очень низкую чувствительность к изменению этого параметра. [20]

1.2 Ультразвуковой метод неразрушающего контроля.

Ультразвуковые методы используются для определения величины внутренних напряжений в металле, но только в том случае если известны скорость распространения упругих колебаний, их коэффициент затухания в исходном металле. При ультразвуковом контроле в контролируемом объекте возбуждают упругие волны и измеряют их фазу, амплитуду или время распространения с последующим расчетом скорости. По изменению этих параметров судят о величине внутренних напряжений. Метод интенсивно развивается в настоящее время, судя по большому количеству патентов в

данной области, направленных на увеличение точности измерения, а также на контроль дефектов при усталостном нагружении [21].



Рис.2. Современные ультразвуковые дефектоскопы

Принцип работы

Звуковые волны, зондирующие структуру материала не меняют траектории движения при однородном составе материала. Отражение акустических волн возникает только от сред с разными удельными акустическими сопротивлениями. Чем больше отличаются акустические сопротивления в исследуемом объекте, тем большая часть звуковых волн отражается от границы раздела сред. Наличие в металле смеси газа или пуст, возникающих вследствие процесса сварки, литья или в результате деформации. Имеют на несколько порядков меньшее удельное акустическое сопротивление, чем сам металл и в результате отражение будет практически полное.

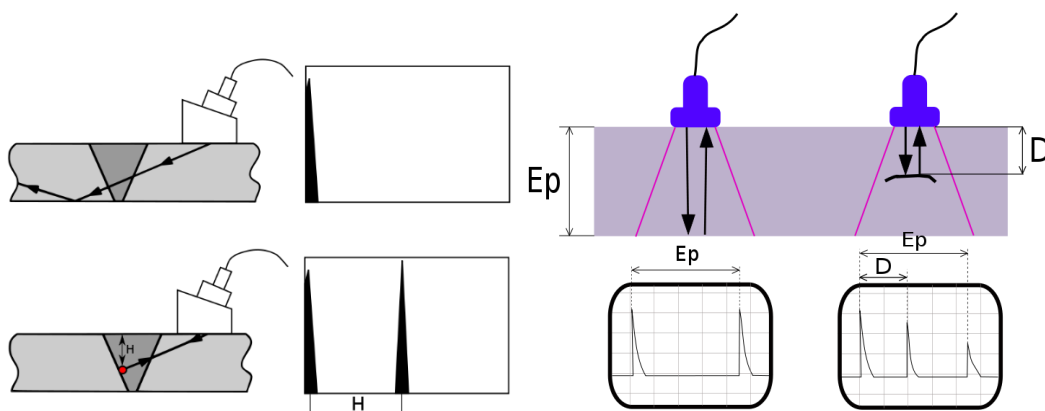


Рис.3. Эхо-импульсный метод для контроля сварного соединения без дефекта (сверху) и с дефектом (снизу). В правой части изображения представлен

результат на экране прибора с изображённым на нём зондирующим импульсом (сверху) и импульсом от дефекта (снизу).

Достоинства.

Ультразвуковой контроль не разрушает и не повреждает исследуемый образец, что является его основным достоинством. Можно производить контроль деталей из различных материалов, как металлов, так и неметаллов. Кроме того можно отметить высокую скорость исследования при невысокой стоимости и угрозы для человека (по сравнению с рентгеновской дефектоскопией) и высокую мобильность ультразвукового дефектоскопа.

Недостатки.

Применение пьезодатчиков требует подготовки поверхности для ввода ультразвука в материал, т.е. создания шероховатости поверхности не меньше класса 5, например в случае со сварными соединениям ещё и направления шероховатости (перпендикулярно шву). В связи большого акустического сопротивления воздуха, малейший воздушный зазор может стать огромной преградой для ультразвукового излучения. Для устранения воздушной прослойки, на исследуемую поверхность изделия предварительно наносят контактные жидкости, например, воду, масло, клейстер. Для контроля вертикальных или наклоненных поверхностей необходимо применять густые контактные жидкости во избежание их быстрого стекания[7].

Ультразвуковая дефектоскопия не даёт реальное представление о размерах дефекта, а только лишь о его отражательной способности в направлении приемника. Эти величины коррелируют, но не для всех типов дефектов. Кроме того, некоторые дефекты практически невозможно обнаружить ультразвуковым методом в силу их характера, формы или расположения в объекте контроля.

Практически невозможно производить достоверный ультразвуковой контроль металлов с крупнозернистой структурой, таких как чугун или аустенитный сварной шов (толщиной свыше 60 мм) из-за большого рассеяния и сильного затухания ультразвука. Кроме того, затруднителен контроль

небольших изделий или деталей со сложной формой. Также затруднен ультразвуковой контроль сварных соединений из разнородных сталей (например аустенитных сталей с перлитными сталями) ввиду крайней неоднородности металла сварного шва и основного металла[5].

Применение.

Используется для локализации дефектов объектов (поры, волосовины, различные включения, неоднородность структуры) и контроля качества проведённых работ— сварка, пайка, склейка и пр.

1.3 Рентгеновский метод неразрушающего контроля.

Рентгеновский контроль - это один из самых важных и необходимых методов неразрушающего контроля и технической диагностики. При помощи рентгеновского контроля происходит поглощение вредных рентгеновских лучей, его поглощение зависит от плотности среды и элементов, из которых состоит среда. При условии, что в среде имеются какие-либо дефекты, например: трещины, инородные включения, раковины приводит к тому, что рентгеновские лучи проходят через предмет не одинаково. С помощью данного метода в предмете можно выявить месторасположение неоднородных масс[8].



Рис.4. «Дрон-7»



Рис.5. «Арион»

Метод неразрушающего рентгеновского контроля:

- Применяют для выявления различных поджогов, подрезов или при оценке вогнутости / выпуклости корня шва. Такой метод наиболее эффективен, если какой-либо дефект недоступен для внешнего осмотра.

- Метод неразрушающего рентгеновского контроля нашел огромное распространение в промышленных и строительных отраслях, а также в исследованиях, проводимых с помощью лабораторной техники. Такой контроль удобен для получения оценки различных металлоконструкций, трубопроводов, оборудования из стали, композитных материалов и цветных металлов.

- С его помощью можно безошибочно обнаружить не проваренные соединения, раковины, грубые трещины, поры, различные включения. Если обследуемый предмет имеет толщину более пятисот миллиметров, то его необходимо просвечивать сверху жестким излучением. Этот способ без труда выявит все скрытые дефекты предмета толщиной от восьмидесяти до двухсот пятидесяти миллиметров.

Метод контроля основан на способности рентгеновских лучей проникать через металл и воздействовать на светочувствительную рентгеновскую пленку, расположенную с обратной стороны сварного шва. В местах, где имеются дефекты сплошности контролируемого материала (непровары, поры, трещины, шлаковые включения и др.) поглощение лучей будет меньше и они будут более активно воздействовать на чувствительный слой рентгеновской пленки. Рис. 6.

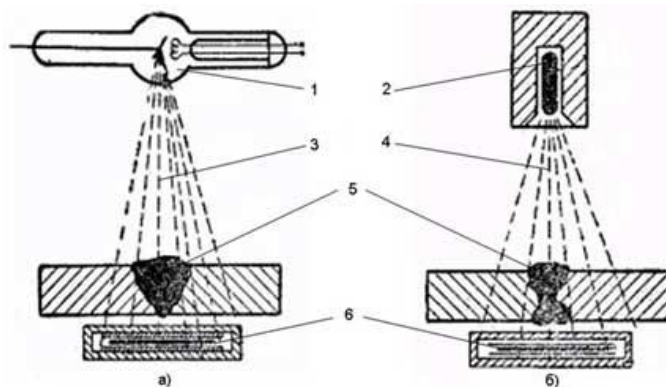


Рис.6. Принцип работы рентгеновского метода

- а – просвечивание сварного шва рентгеновскими лучами
- б – просвечивание сварного шва гамма-лучами
- 1 – рентгеновская трубка;
- 2 – ампула с радиоактивным веществом в защитном свинцовом кожухе;
- 3 – рентгеновские лучи;
- 4 – гамма-лучи;
- 5 – сварной шов;
- 6 – кассета с рентгеновской пленкой.

После проведения рентгенографирования радиографические пленки проявляются, после чего производится их расшифровка с помощью негатоскопа с целью описания и регистрации выявленных дефектов.

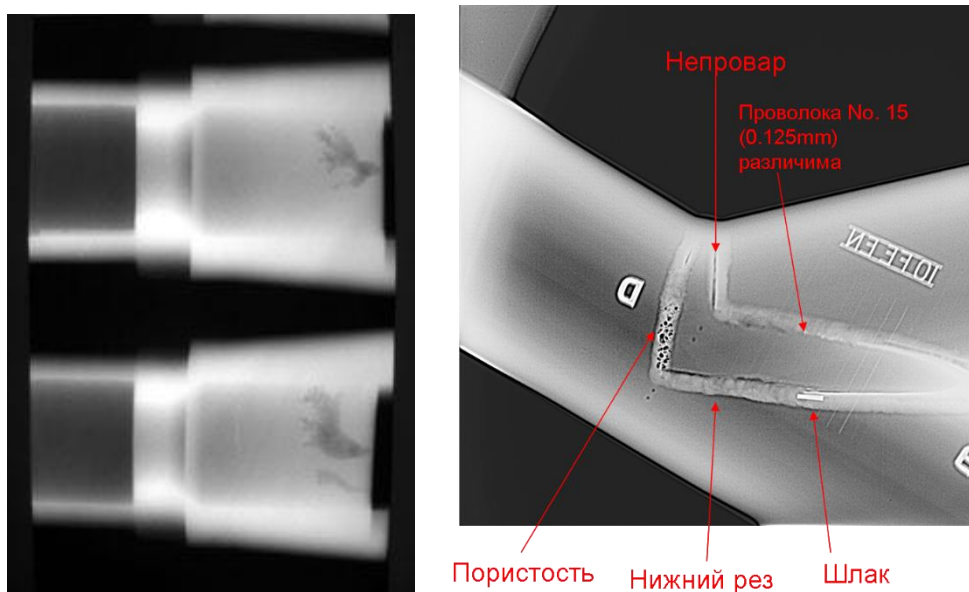


Рис. 7 а, б. Рентгенографическое изображение стыковых сварных швов с дефектами

К существенным недостаткам радиографического контроля следует отнести его рентгеновское излучение, являющееся ионизирующим, которое оказывает воздействие на живые организмы, и является причиной лучевой болезни и рака. Поэтому при работе с рентгеновским излучением нужно соблюдать меры защиты и должны иметь лицензию на проведение работ, связанных с использованием Источников ионизирующего излучения (ИИИ).

Кроме того, к недостаткам радиографического контроля следует отнести тот факт, что при контроле не выявляются несплошности или включения: с размером в направлении просвечивания менее удвоенной чувствительности контроля; когда совпадают их изображения на снимках с изображениями инородных деталей, резких перепадов толщин или острых углов просвечиваемого металла; трещины и непровары, плоскость которых не совпадает с направлением просвечивания.[9,10]

1.4 Тепловой метод

Термоупругий эффект был открыт около 100 лет назад. Однако только после разработки высокоточных бесконтактных приборов для измерения

температуры стал использоваться для измерения внутренних напряжений в металлоконструкциях.



Рис.8. Прибор «Тепловизор» используемые в тепловом методе

Сущность термоупругого эффекта заключается в выделении тепла объектом контроля при его механической нагрузке. В качестве приемных сенсоров применяют инфракрасные детекторы с разрешением по площади 2х2 мм и менее, реже применяют жидкие кристаллы..

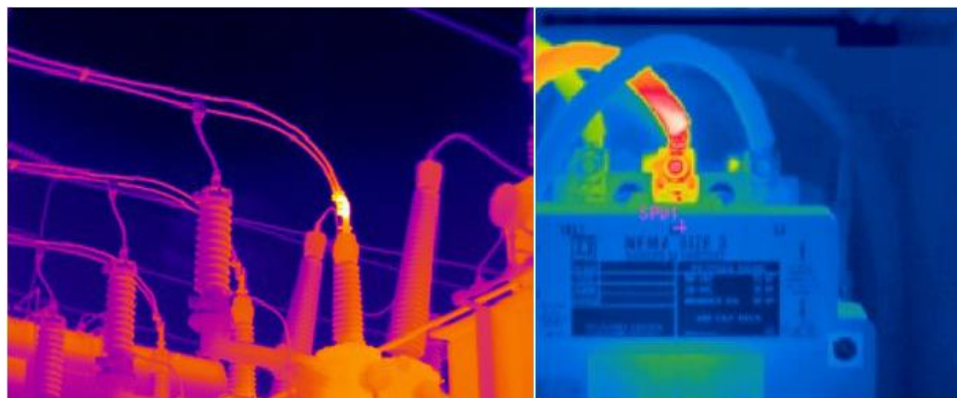


Рис.9. Результат полученный с помощью теплового метода

Принцип работы

Тепловые МНК в качестве пробной (несущей информацию) энергии используют распространяющуюся в объекте контроля тепловую энергию. Температурное поле напрямую зависит от происходящих в объекте процессах теплопередачи, особенности которых зависят от наличия дефектов (как внутренних, так и наружных).

Основной информативный параметр тепловых МНК – разность температур между бездефектными и дефектными областями объекта. Температура может измеряться контактным и бесконтактным методом. В зависимости от характера взаимодействия контролируемого объекта и тепловой энергии различают активный (рис.10) и пассивный методы тепловых МНК.

Активный метод заключается в следующем: контролируемый объект 6 с помощью внешнего источника 1 охлаждают или нагревают, а затем с помощью устройства контроля 5 измеряют тепловой поток температуру на его поверхности. Участкам повышенного или пониженного нагрева соответствуют дефекты 4.

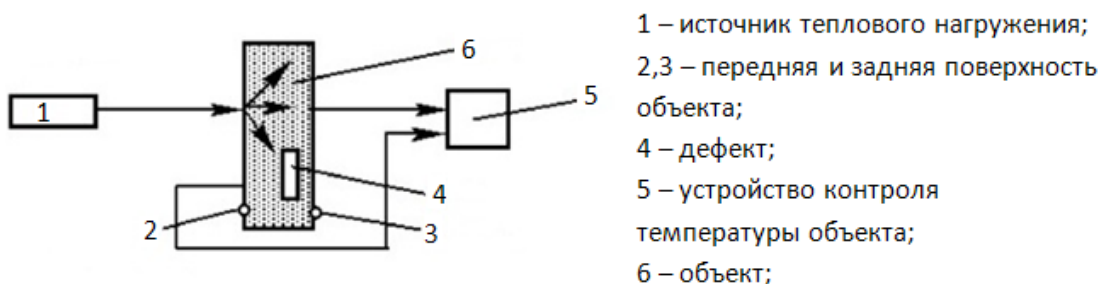


Рис.10 – Активный метод теплового НК

В пассивном методе регистрируют тепловые потоки работающих объектов, ставя в соответствие местам повышенного нагрева неисправности и дефекты. В качестве основного недостатка метода следует отметить необходимость очистки контролируемой поверхности от поглощающих покрытий. Кроме того, метод имеет высокую погрешность измерения, которая составляет $\pm 20\text{МПа}$. [12]

1.5.Термоэлектрический метод неразрушающего контроля.

С помощью термоэлектрических приборов можно проводить контроль структурного состояния поверхностного слоя сталей, связанный с химическим составом, термообработкой, толщиной поверхностно-упрочненных слоев и проводящих гальванических покрытий, без внесения изменений в структуру материала. Приборы на термоэлектрическом эффекте только начинают своё

развитие, отличаются простотой использования, временем исследования объекта, что немало важно на современных предприятиях, а также мобильностью. Такие приборы работают на эффекте Зеебека. Как известно, сила тока, возникающего в замкнутой цепи, составленной из двух разнородных металлов, определяется величиной термоэлектродвижущей силы (т. э. д. с.) зависящей от природы обоих металлов и от разности температур между спаями.



Рис.11. Термоэлектрические приборы

Первопричиной возникновения ЭДС в месте соприкосновения двух разноименных металлов является контактная разность потенциалов. Так например каждый впереди стоящий металл положителен по отношению к последующим: (+) Al, Zn, Sn, Cd, Pb, Sb, Bi, , Hg, Fe, Cu, Ag, Au, V, Te, Pt, MnO₂, P₆O₂ (-). Если один из металлов выбрать в качестве постоянного эталона и задаться определенной разностью температур, то величина т. э. д. с. будет определяться только природой второго металла. При изменении состава или свойств второго металла будет получаться различная величина т. э. д. с. Приборы, на рис.11. работающие на термоэлектрическом способе имеют ряд преимуществ перед другими методами контроля качества. Такие как, мобильность, что важно для объектов которые нельзя разбирать. Отсутствие вредного излучения, что позволяет работать в любых условиях без специальной подготовки персонала Простату использования, что даёт возможность работать любому персоналу без дополнительной квалификации. Но, а также имеет недостатки: Перед началом работы поверхность образца

нужно очищать абразивным материалом во избежание занесения дополнительного материала в исследуемый объект. Использовать объекты у которых, поверхность имеет не большую шероховатость.

Методы сортировки изделий

При работе с металлами и сплавами нередко возникают вполне обоснованные сомнения: соответствует ли металл деталей тому, что указан в конструкторской документации. На любом производстве, как правило, применяют ограниченный ассортимент сталей и сплавов, но острой проблемой остается перепутывание марок даже при хорошо налаженном входном контроле. Это и недобросовестность поставщика, когда в одной партии попадают прутки различных марок, что невозможно определить при входном контроле, перепутывание при выдаче заготовок в производство и отсутствие производственной дисциплины рабочих, которые, чтобы скрыть свой брак, берут любую подвернувшуюся заготовку. В ряде случаев сомнения возникают уже тогда, когда узел собран и подтвердить марку известными способами просто невозможно.

Кроме того, все чаще выпуск бракованной продукции возникает из-за перепутывания металлов при его покупке и присутствии входного контроля металлов. В итоге страдает качество заготовок и качество деталей. В ряде случаев сомнения возникают тогда, когда узел уже собран, и подтвердить марку металла какой-либо ответственной детали в нем известными методами не представляется возможным.

Существующие методы для анализ металлов и сплавов решает задачу определения элементного состава металлов и их сплавов. Главная цель — проверка сорта сплава или типа и композиционный анализ различных сплавов.

Методы:

- Химический анализ
- Спектральный анализ
- Рентгенофлуоресцентный анализ
- Искровой

1. Химический анализ металлов

Данный метод позволяет проанализировать химический состав металла с высокой точностью. На данный момент это единственный метод анализа, позволяющий достоверно определить процентное содержание углерода в сталях. Для проведения химического анализа стали по углероду стружку исследуемого металла сжигают в водородной среде и анализируют состав получившегося газа фотоколлометрическим методом. Для точности измерения проводят три параллельных пробы. Для определения других элементов используют весовой способ. Состав металлов весовым методом определяется путем его перевода в раствор (химическое растворение в растворах кислот, воде). Затем соединение необходимого металла переводится в осадок добавлением соли или щелочи. Далее осадок прокаливается до постоянного веса, а содержание металлов определяется взвешиванием на аналитических весах и пересчетом.

Метод дает наиболее точные значения состава металла, но требует больших затрат времени. При электрохимическом методе после перевода пробы в водный раствор содержание металла определяется различными электрохимическими методами — полярографическим, кулонометрическим и другими, а также сочетанием с титрованием.

Эти методы позволяют провести химический анализ металлов в широком диапазоне концентраций с удовлетворительной точностью, но отличаются высокой трудоемкостью, требуют лабораторию и квалифицированный персонал.

2. Спектральный анализ металлов

Достаточно разнообразна группа спектральных методов определения содержания металлов. В нее входят, в частности, различные методы определения содержания металлов путем проведения анализа характеристических спектров электромагнитного излучения атомов — атомный эмиссионный анализ, атомный абсорбционный анализ, спектрофотометрия, масс-спектрометрия, рентгеноспектральный анализ.

Наиболее широко применяемый в промышленности метод. На современном оборудовании процесс исследования состава металла занимает считанные минуты. При анализе металла данным методом определение количественного содержания углерода в сталях неточно. Для спектрального анализа требуются квалифицированные специалисты и дорогостоящее оборудование — спектрометр (порядка 4 млн. руб.). При анализе металла на поверхности остаются следы температурного воздействия, что приводит к нарушению геометрии исследуемой металлической детали.

3. Рентгенофлуоресцентный анализ металлов

Относится к неразрушающим методам. Позволяет определять практически весь элементный состав металлов, за исключением точного содержания углерода в сталях. Процесс определения занимает не более 1 минуты. Для проведения рентгенофлуоресцентного анализа требуется достаточно большая площадь поверхности. Измерение малых деталей невозможно. Требуется дорогостоящее оборудование (более 1,5 млн. руб.) и хорошо подготовленные специалисты.

4. Определение стали по искрам

Искры, возникающие при шлифовании достаточно прочных металлов, представляют собой мельчайшие расплавленные частицы металла, летящие по касательной к окружности вращающегося круга в месте его контакта с деталью. Стружка или расплавленные частицы металла, отброшенные центробежной силой круга, пролетая с большой скоростью в воздухе, раскаляются еще больше. Цвет и форма искр (строение луча) определяются главным образом химическим составом шлифуемого сплава, что применяется для распознавания сорта стали по искре. Размер и начальная температура стружек-искр зависят главным образом от материала шлифуемой детали и от нагрузки на абразивное зерно. При большем содержании углерода плавятся также и большие стружки, которые образуют яркие искры с большим количеством лучей.

Глава 2. Приборы термоэлектрического контроля.

Наличие структурных неоднородностей в металлах и сплавах, таких, как дефекты кристаллической решетки и градиенты упругих напряжений, вызывающие упругую и пластическую деформации, оказывают сильное влияние на их физические свойства. Именно с дефектами и упругими напряжениями связаны вопросы стойкости к коррозии, твердости, долговечности и пластичности металлоконструкций. Поэтому своевременный контроль и обнаружение пластической деформации позволяют избежать не только производственных аварий, но и техногенных катастроф, а также предотвратить человеческие жертвы. Из обзора литературы можно сделать вывод, что, устройства, работающие на эффекте Зеебека имеют ряд преимуществ. Такие приборы не требуют высокой квалификации рабочих. Позволяют проводить экспресс контроль для металлов на производстве не разбирая конструкцию и не влияя на качество материала. Также стоит отметить, что кроме проверки качества поверхностного слоя, можно проводить сортировку готовой продукции без повреждения структуры объекта. Такой метод исследования имеет низкую стоимость в отличие других методов контроля качества. Перечисленные преимущества говорят об актуальности и конкурентно способности приборов, основанных на эффекте Зеебека.

Одним из свойств, в высокой степени чувствительным как к структуре кристалла, так и к малейшим изменениям в электронном энергетическом спектре, является термоэлектродвижущая сила. Так в [43] отмечено, что добавление примеси даже на уровне десятых долей ат.% может привести к изменению термоЭДС на сотни процентов и даже изменить знак ЭДС. Различные дефекты вносят разный вклад в термоЭДС не только по величине, но и по знаку в отличие от других свойств электропереноса. Это создает большие возможности для использования термоэлектродвижущей силы в качестве чувствительного метода контроля количества примесей, упругих напряжений, фазовых превращений и пластической деформации. Поэтому применение термоэлектрических приборов в решении задач неразрушающего

экспресс-контроля, в частности, для контроля химического состава, глубины обезуглероженного и цементованного слоев, разбраковке по маркам и др. является актуальной задачей.

В мире существует немного приборов, работающих на термоэлектрическом методе, поэтому нужно рассмотреть их и сделать сравнительный анализ для будущего прибора.

Термоэлектричество

Одним из свойств, в высокой степени чувствительным как к структуре кристалла, так и к малейшим изменениям в электронном энергетическом спектре, является термоэлектродвижущая сила. Вследствие высокой чувствительности к деталям электронного энергетического строения, которое в реальных металлах зачастую отличается от простых моделей, термоэлектрические свойства даже чистых бездефектных металлов с трудом поддаются теоретической трактовке. Различные дефекты вносят разный вклад в термоЭДС не только по величине, но и по знаку в отличие от других свойств электропереноса. Это создает большие возможности для использования термоэлектродвижущей силы в качестве чувствительного метода контроля количества примесей, упругих напряжений, фазовых превращений и пластической деформации. Поэтому применение термоэлектрических приборов в решении задач неразрушающего экспресс-контроля, в частности, для контроля химического состава, глубины обезуглероженного и цементованного слоев, разбраковке по маркам и др. является актуальной задачей.

Влияние деформации на термоЭДС было исследовано в [42]. Было получено выражение для расчета термоЭДС:

$$\Delta E = \frac{N_m \omega [1 - e^{-a_0(\varepsilon - \varepsilon_0)}] a_1}{[1 + a_1 e^{-a_0(\varepsilon - \varepsilon_0)}](1 + a_1)} \quad (X)$$

где: $N_m = \frac{a}{\gamma}$, $a_1 = \frac{N_m}{N_0} - 1$, γ – вероятность гибели дислокаций, ε_0 –

начальная относительная деформация, ε – текущая деформация, N_m – начальная плотность дислокаций до деформации, ω – коэффициент пропорциональности, α , α_0 , γ – постоянные, связанные с вероятностями спонтанного образования дислокаций и их взаимодействия, а также их исчезновения соответственно.

В работе [21] было исследовано влияние накопленных повреждений в алюминиевых сплавах на термоэлектрические характеристики. В работе [26] приведены результаты исследований термоЭДС, возникающей при обработке металла резанием. Влияние теплового и электрического сопротивления контактов исследовалось в работе. [27] Было показано, что при наличии контактного сопротивления происходит изменение термоЭДС, которое может увеличиться или уменьшиться при изменении направления термотока, т.е. при смене местами опорного и измерительного образцов.

Эффект Зеебека

Как известно, сила тока, возникающего в замкнутой цепи, составленной из двух разнородных металлов, определяется величиной термоэлектродвижущей силы (термоЭДС) зависящей от природы обоих металлов и от разности температур между спаями. Первопричиной возникновения ЭДС в месте соприкосновения двух разноименных металлов является контактная разность потенциалов. Так, например, каждый впереди стоящий металл положителен по отношению к последующим: (+) Al, Zn, Sn, Cd, Pb, Sb, Bi, латунь, Hg, Fe сталь, Cu, Ag, Au, V, Te, Pt, MnO₂, P₆O₂ (-). Если один из металлов выбрать в качестве постоянного эталона и задаться определенной разностью температур, то величина термоЭДС будет определяться только природой второго металла. При изменении состава или свойств второго металла будет получаться различная величина термоЭДС.

Термоэлектрический метод основан на эффекте Зеебека, заключающийся в том, что в электрическая цепь, состоящая из различных проводников (M1 и M2), возникает термоЭДС, если места контактов (A, B) поддерживаются при

различных температурах. Если цепь замкнута, то в ней протекает электрический ток (так называемый термоток), причем изменение знака у разности температур спаев сопровождается изменением направления термо тока на рис. 12.

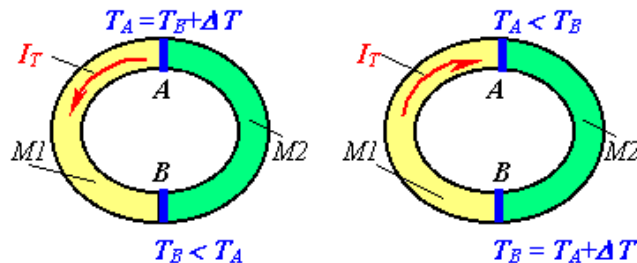


Рис. 12. Возникновение термоЭДС в паре металлов

Цепь, образованная двумя разными проводниками M1 и M2, называется термоэлементом или термопарой, а ее ветви - термоэлектродами.

Значение термоЭДС (eT) определяется, во-первых, абсолютным значением температур спаев (T_A , T_B), во-вторых, разностью этих температур dT и в третьих, термоэлектрическими свойствами материалов, составляющих термоэлемент.

ТермоЭДС контура определяется из выражения:

$$e_T = \int_{T_B}^{T_A} a_{12} dT,$$

где $e_T = a_{12}(T_A - T_B) = a_{12}\Delta T$ коэффициент термоЭДС металла M1 по отношению к металлу M2, который является характеристикой двух металлов термопары.

На практике это доставляет определенные неудобства. Поэтому условились значение a мерить по отношению к одному и тому же металлу, за эталон был выбран свинец, т.к. для него разность потенциалов между его нагретым и холодным концами равна нулю.

Значения коэффициентов термоЭДС металлов М1 и М2 по отношению к свинцу обозначают соответственно a_1 и a_2 называют абсолютными коэффициентами термоЭДС. Тогда: $a_{12} = a_1 - a_2$

В интервале температур $0^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$:

$$e_T = a_{12}(T_A - T_B) = a_{12}\Delta T$$

Направление термотока зависит от абсолютных коэффициентов термоЭДС металлов. В нагретом спае ток будет течь от металла с наименьшим значением коэффициента термоЭДС \propto к металлу, у которого коэффициент термоЭДС \propto наибольший. Так, для термопары хромель (М1) - алюмель (М2) абсолютные коэффициенты термоЭДС соответственно равны: $= +24.0$ мкВ/К (хромель) и $= -17.3$ мкВ/К (алюмель). Следовательно, ток в горячем спае направлен от алюмеля к хромелю (от М2 к М1). Именно такая ситуация (когда $a_1 - a_2$) показана для электрической цепи, изображенной на рис. 12. [32].

Эффект, получивший название термоэдс или эффект Зеебека, является характеристикой конкретного металла и зависит от температуры, состава и состояния материала. Величина этой термоэдс настолько мала, что для ее измерения используют очень точные приборы.[14]

2.1.Термоэлектрический анализатор металлов и сплавов ТАМИС



Рис. 13. Прибор ТАМИС



Рис. 14. Контроль прибором ТАМИС

Анализатор способен различить более 40 различных марок сталей и цветных металлов. Для получения достоверных результатов анализа необходимо строго следовать методике проведения анализа. Определение марки осуществляется сверкой показаний анализатора с табличными значениям. В случае совпадения марок металлов в партии деталей на индикаторе появляется «Да». Или «Нет» если в партии есть детали из другой марки металла. Калибровка и анализ проводят в три касания, при каждом незначительно изменяя точку анализа, что позволяет повысить достоверность контроля. [15]

Таблица 1 - Технические характеристики термоэлектрического анализатора металлов и сплавов ТАМИС.

Параметр	Значение
Напряжение питания	220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность, не более	5 Вт
Готовность к работе, не более	10 мин
Время проведения анализа одного образца, не более	1 мин
Достоверность результатов, не менее	5-30°C
Габаритные размеры	90x150x50 мм
Масса с блоком питания	0,8 кг

2.2. Прибор ТЭС-4 с дифференциальным датчиком.

Приборы для контроля металлов и сплавов термоэлектрическим методом состоят из датчика и пульта управления с гальванометром или другим индикаторным устройством. В основу приборов при неразрушающем контроле положен принцип механического контакта электродов с изделием. Между электродами поддерживается постоянная разность температур. При этом используется простая или дифференциальная схема создания и измерения термоЭДС. (рис. 15).

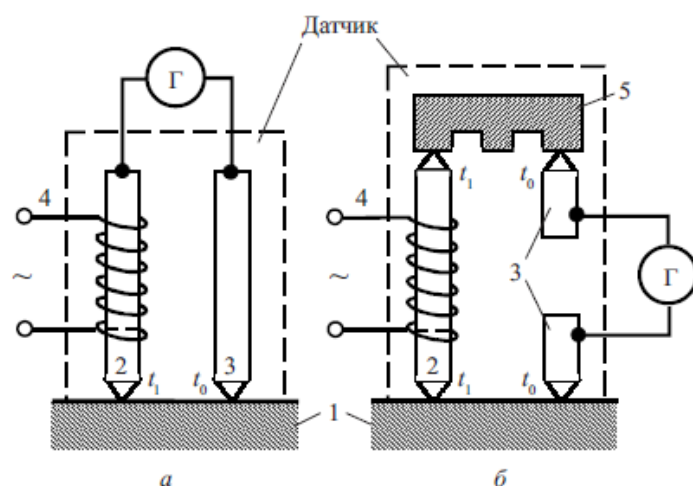


Рис. 15. Схема устройства термоэлектрического прибора с простым (а) и дифференциальным (б) датчиками: 1 – испытываемое изделие; 2 – горячий электрод; 3 – холодный электрод; 4 – нагреватель; 5 – стандартный образец (эталон); Г - гальванометр.

Конструкция проходного дифференциального термоэлектрического датчика для сортировки относительно мелких деталей приведена на рис. 15. Прибор ТЭС-4 комплектуется датчиком для измерения термоЭДС дифференциальным способом. Все восемь зажимных винтов соединены медным кольцом, с которого щеткой снимается дифференциальная термоЭДС. Ручка с клювом и шариковый фиксатор позволяют быстро устанавливать требуемый стандартный образец (СО) в плоскости перемещения горячего электрода. Горячий электрод вместе с нагревателем может перемещаться в вертикальном направлении на 3-5 мм, это позволяет прижимать его концы к испытываемому изделию и СО с постоянной силой, что обеспечивает хорошую воспроизводимость результатов измерений.[16]

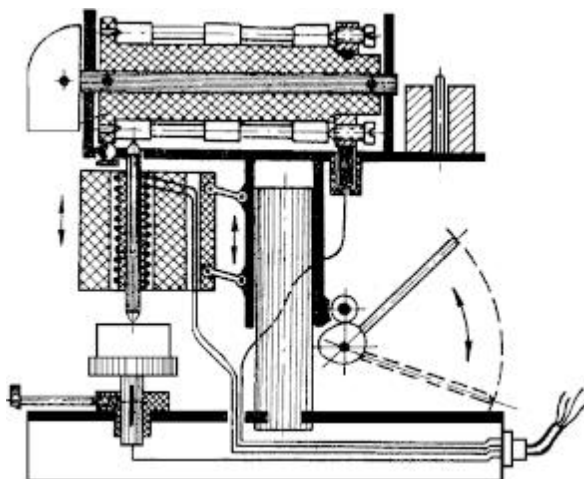


Рис. 16. Проходной дифференциальный термоэлектрический датчик:

1 – испытуемый образец; 2 – горячий электрод; 3 – подъемный столик (холодный электрод); 4 – нагревательный элемент; 5 – СО; 6 – барабан с кассетами для восьми СО; 7 – винты (второй холодный электрод) для закрепления СО; 8 – эксцентрик с ручкой; 9 – грузы; 10 – разъем для подключения датчика к пульту управления термоэлектрического прибора.

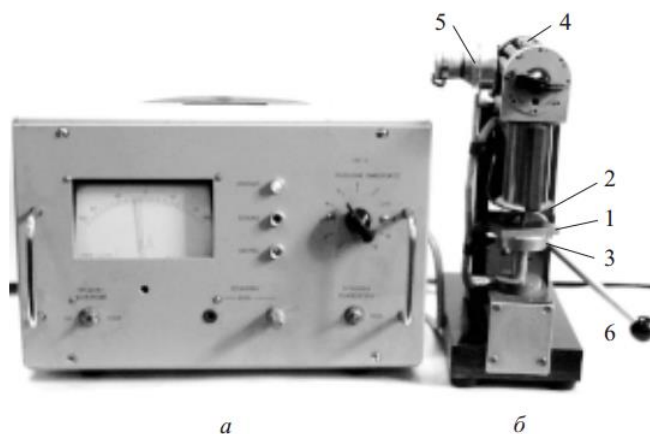


Рис. 17. Прибор ТЭС-4 с дифференциальным датчиком:

А – измерительный электронный блок; б – дифференциальный датчик: 1 – образец; 2 – горячий электрод; 3 – столик (холодный электрод); 4 – элемент сравнения; 5 – вентилятор (для поддержания постоянной температуры второго холодного электрода); 6 – ручка с эксцентриком.

2.3. Термоэлектрический прибор Т-ЗСП



Рис. 18. Внешний вид прибора Т-ЗСП.

Прибор предназначен для оперативного разделения металлов, имеющих различный химический состав, определения наличия покрытий, отличающихся по химическому составу от основного материала.

Работа прибора основана на методе измерения термоЭДС, возникающей между объектами, имеющими различную температуру и химический состав.

Прибор позволяет оперативно контролировать химический состав металлов путем сравнения с эталоном.

При комплектации трибоэлектрическим преобразователем прибор работает по методу трибоЭДС, возникающей при трении различных по химическому составу металлов между собой. В этом режиме прибор может быть эффективно использован для определения степени наводораживания титановых сплавов.[17]

Таблица 2 Технические характеристики

• Чувствительность, мкВ, не хуже — 10
• Температура наконечника, °С (стабилизирована) — 80
• Материал наконечника — сменный
• Время установления рабочего режима, мин — 5
• Время непрерывной работы, час — 8
• Питание, В — 220 ± 10
• Потребляемая мощность, Вт. не более — 5
• Масса прибора, кг — 0,4

<ul style="list-style-type: none"> • Габаритные размеры (без преобразователя), мм — 190x105x60
<ul style="list-style-type: none"> • Материал наконечника вибрирующего преобразователя — ВТ-20(сменный)
<ul style="list-style-type: none"> • Температура окружающего воздуха, °С — +10...+50

2.4. Термоэлектрический сортировщик металлов и сплавов - ТЕ-3000.

Принципы работы: **ТЕ-3000 термоэлектрический сортировщик металлов и сплавов** использует принцип термопары; с участием прямого преобразования разности температур в электричество. (Этот принцип также известен как Зеебека эффект). Нагретый металлический зонд вступает в контакт с **тестовым металлом**; формируется схема термопары . На одном электроде поддерживается постоянная повышенная температура. Это создает небольшое микронапряжения. Микронапряжение изменяется в зависимости от типа металла и может быть последовательно коррелировано. Это тепловое свойство можно использовать для характеристики большинства металлов. Индустриальные инструменты проверки качества используют это как метод, чтобы идентифицировать металлические сплавы.

Термоэлектрический сортировщик металлов и сплавов особенности:

- Время проведения контроля 1 сек.
- Простота в использовании.
- В комплекте поставляется калибровочный эталон

Таблица 3 – Достоинства и недостатки термоэлектрических приборов

	Термоэлектрический анализатор металлов и сплавов ТАМИС	Прибор ТЭС-4 с дифференциальным датчиком.	Термоэлектрический прибор Т-ЗСП	Термоэлектрический сортировщик металлов и сплавов - ТЕ-3000.
Достоинства	Маленькая потребляемая мощность, компактный, достоверность получаемых результатов, широкий спектр применения прибора.	Дифференциальный датчик, повторяемость контроля, система измерения с постоянным прижимом.	Маленькая потребляемая мощность, сменный наконечник.	Быстрый контроль, простота в использовании
Недостатки	Неудобный интерфейс, малая база металлов, при большом количестве деталей нужно через каждые 5 деталей производить заново калибровку., малый диапазон рабочих температур	Громоздкий, большие массогабаритные параметры, много электродная система измерения.	Малый диапазон рабочих температур, плохая чувствительность.	Малая база металлов.
Потребляемая мощность	5 Вт	100 Вт	5 Вт	10 Вт

Выводы

Сравнительный анализ существующих приборов показал, что, приборы термоэлектрического контроля имеют недостатки, не позволяющие достоверно осуществлять входной контроль металлов и сплавов из-за, наличия переходного процесса, «дребезга контактов», нестабильного электрического сопротивления контактов измерительных электродов с образцом, установления теплового контакта электродов с образцом. Учитывая некоторые недостатки существующих моделей термоэлектрических приборов в национальном исследовательском Томском политехническом университете в институте неразрушающего контроля на кафедре промышленной и медицинской электронике был разработан «Термотест». Для увеличения конкурентно способности и точности измерения показания прибора необходимо провести исследование факторов, влияющих на конечный результат. При подробном изучения особенности работы прибора, было выявлено, что измерительный электрод прилегает не плотно к исследуемой поверхности, что приводило к появления многоточечному контакту. Поэтому необходимо провести исследования влияния возникающий многоточечности, а также предложить метод по уменьшению влияния на достоверность контроля. Разработке модели и исследованию этого явления будет посвящена следующая глава.

Глава 3. Объект исследования

Проведенный в первой главе анализ позволил определить объект исследования (измерительные электроды), цели (повышение достоверности контроля) и задачи (исследовать источники термоЭДС возникающие при многоточечном контакте и предложить методы уменьшения влияния на результат) исследования.

Прибор «Термотест»

3.1. Структурная схема прибора «Термотест»

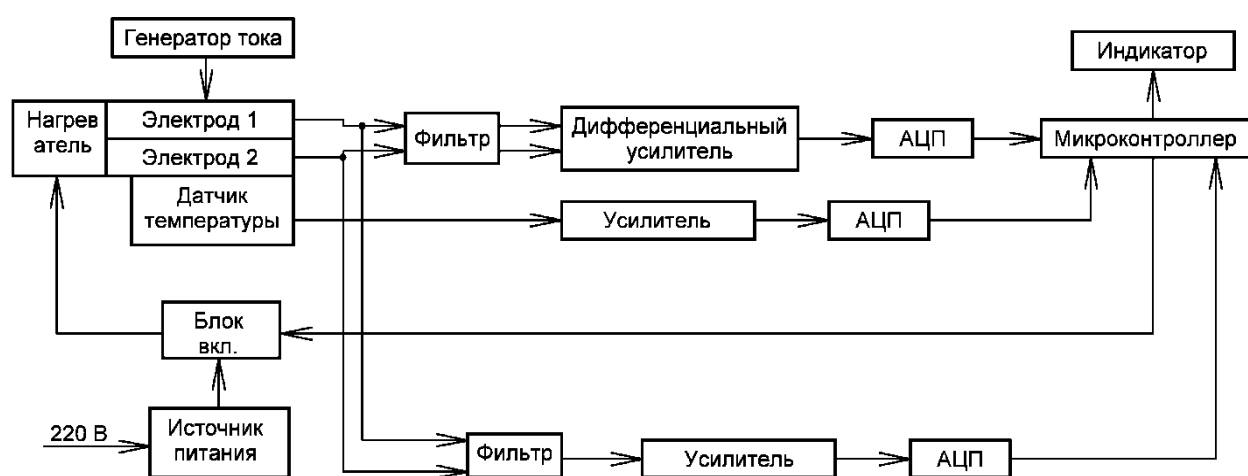


Рис.19. Структурная схема прибора «Термотест»

Структурная схема прибора «Термотест» состоит из канала измерения термоЭДС, канала стабилизации температуры горячих электродов, канала измерения сопротивления контактов горячих электродов с объектами контроля. Канал измерения термоЭДС состоит из двух горячих электродов, фильтра1, дифференциального усилителя, АЦП, микроконтроллера и индикатора. Канал стабилизации температуры горячих электродов состоит из нагревателя, блока включения нагревателя, датчика температуры, усилителя, АЦП, микроконтроллера и индикатора. Канал измерения сопротивления контактов горячих электродов с объектами контроля состоит из генератора тока, фильтра 2, усилителя, АЦП и микроконтроллера. Следует заметить, что для всех трех каналов микроконтроллер и индикатор используются одни и те же.

3.2. Алгоритм работы прибора «Термотест»

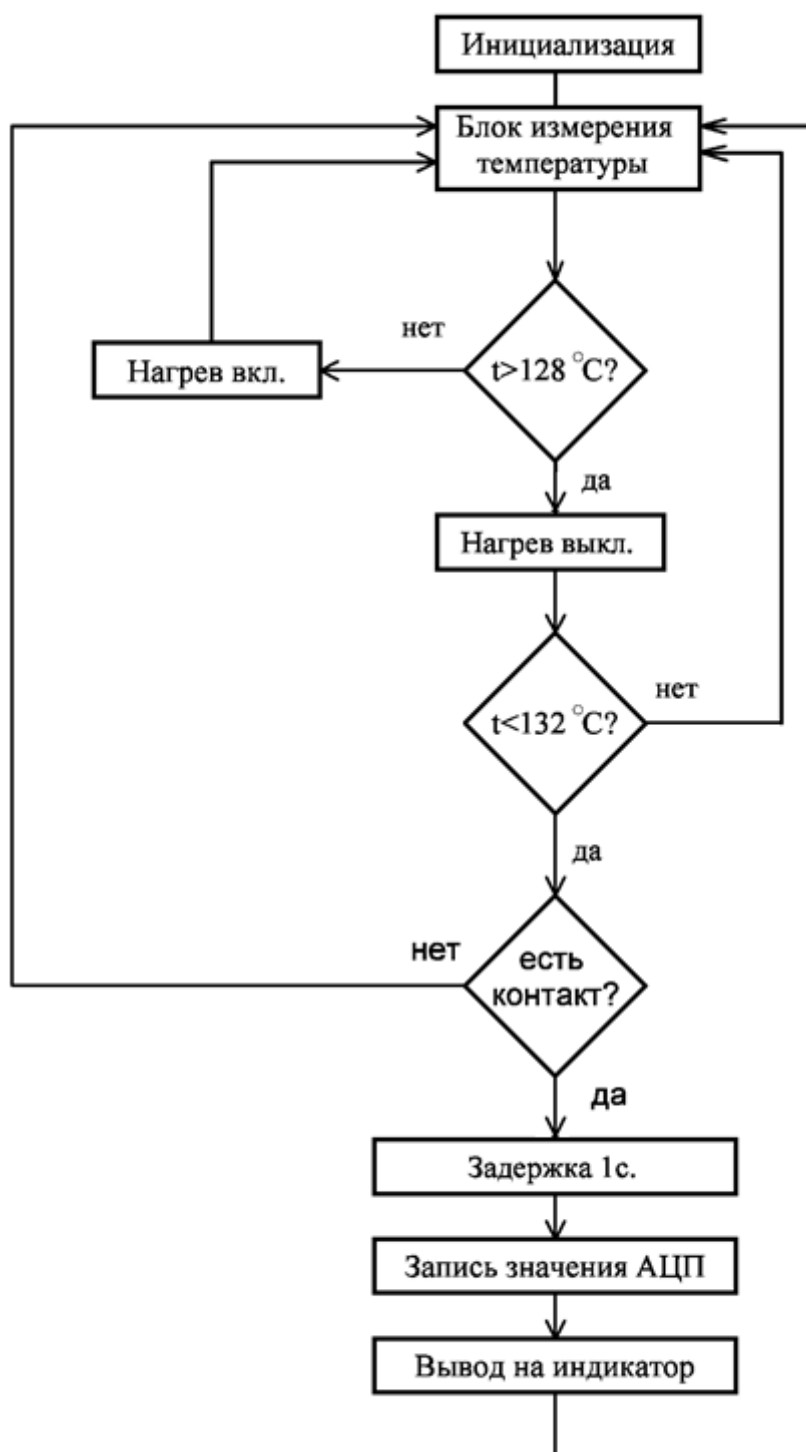


Рис.20. Алгоритм работы прибора «Термотест»

При включении прибора «Термотест» происходит инициализация устройства. Затем ждем когда первый и второй электрод нагреются до заданной температуры нагревателем. Если электроды нагрелись до $T=130^{\circ}\text{C}$, то прибор готов

к работе. Если же температура будет больше 132 С, то нагреватель отключиться. Далее прибор ждет когда мы коснемся дифференциальным датчиком одновременно эталона и образца. При прикосновении происходит замыкание электродов и напряжение на них становится равным 0, что является сигналом для начала считывания данных с АЦП микроконтроллером. На семисегментный индикатор выводятся следующие результаты: Температура электродов, значение термоЭДС, результат сравнения образца с эталоном. После чего прибор переходит в ждущий режим до следующего касания дифференциальным датчиком эталона и образца.

Дестабилизирующие факторы

При ручном контроле металлоизделий прибором «Термотест», ряд дестабилизирующих факторов, которые искажают истинное значение термоЭДС. Это, например, наличие переходного процесса, «дребезг контактов», нестабильное электрическое сопротивление контактов измерительных электродов с образцом, установление теплового контакта электродов с образцом, а также многоточечность.

В рамках этой работы будет рассмотрена, такая проблема как многоточечность и её влияние на результат показания прибора.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

Студенту:

Группа		ФИО	
1AM41		Обач Игорю Игоревичу	
Институт	ИНК	Кафедра	ПМЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	11.04.04. Электроника и наноэлектроника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):	Затраты на выполнение НИР включают в себя затраты на сырье, материалы, отчисления на социальные нужды, накладные расходы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений	НИР выполнялась в соответствии со стандартной системой налогообложения, отчислений

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Предпроектный анализ	Определение потенциальных потребителей результатов исследования и анализ конкурентных технических решений
2. Инициация проекта	Информация о заинтересованных сторонах проекта, цели и ожидаемые результаты НИР, трудозатраты и функции исполнителей проекта
3. Планирование управления научно-техническим проектом	Составление перечня этапов и работ по выполнению НИР, составление калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов
4. Оценка сравнительной эффективности исследования	Расчёт интегрального показателя эффективности НИР, за счёт определения его основных составляющих: финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Перечень графического материала:

1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
2. График проведения и бюджет НТИ
3. Календарный план проекта
4. Диаграмма Ганта
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Чистякова Н.О.	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM41	Обач Игорь Игоревич		

1. Предпроектный анализ

1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями прибора являются все производители продукции из металлов или металлических сплавов (машиностроительные предприятия, инструментальные заводы, ремонтные предприятия, подшипниковая промышленность и т.п.).

1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В качестве сравнительного прибора был взят «Прибор ТЭС-4 с дифференциальным датчиком» и Термoeлектрический прибор Т-3СП

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Надежность	0.2	5	1	4	1	0.2	0.8
2. Возможность доработки	0.2	5	1	4	1	0.2	0.8
3. Точность	0.1	2	4	5	0.2	0.4	0.5
4. Простота обслуживания	0.02	5	3	4	0.1	0.06	0.08
5. Обработка данных	0.1	3	5	5	0.3	0.5	0.5
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Стоимость изготовления	0.05	5	2	1	0.25	0.1	0.05
2. Конкурентоспособность	0.2	5	3	3	1	0.6	0.6
3. Послепродажное обслуживание	0.1	5	3	5	0.5	0.3	0.5
3. стоимость эксплуатации	0.13	5	4	5	0.65	0.52	0.65
Итого	1	40	26	36	5	2.88	4.48

Расчет конкурентоспособности выполняется по следующей формуле:

$$K_i = \sum B_i \cdot \text{Б}_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

Б_i – балл i -го показателя.

$i = 1, \dots, n$ – количество рассматриваемых факторов.

Из таблицы 1 видно, что конкурентоспособность разрабатываемого устройства выше по сравнению с продуктом-аналогом. Наше устройство по комплексу параметров лучше устройства-аналога и его разработка считается целесообразной и экономически выгодной.

1.3 FAST – анализ

Объектом исследования является, прибор неразрушающего контроля металлов и сплавов “Термотест”. Главной функцией (1) объекта является измерение отбраковка металлов. К основной функции (2) относится измерение термоЭДС. Вспомогательные функции (3) – обработка данных, отображение результата, питание прибора. Приведем в таблице 2 классификацию функций, выполняемых объектом исследования.

Таблица 2

Наименование детали (узла, процесса)	Кол-во деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			1	2	3
1. Микроконтроллер	1	Главный элемент прибора, выполняющий обработку полученных данных, инициализирующий работу датчика	X		
2. Микросхема памяти	1	Элемент для записи значений		X	
3. Преобразователь USB-UART	1	Узел, позволяющий осуществлять настройку прибора с использованием компьютера			X
4. Клавиатура	1	Устройства ввода			X
5. Дисплей	1	Отображение информации			X
6. Система питания	1	Осуществляет питание прибора.			X
7. Плата	1	Является основой для крепления и связи элементов			X

Далее определим значимость выполняемых функций объектом. Для этого необходимо построить матрицу смежности функций (таблица 3).

Таблица 3

Функ. Функ.	1	2	3	4	5	6	7	Итого
1	1	1	0.5	1	1	0.5	1	6
2	1	1	1.5	1.5	1.5	0.5	1	8
3	1.5	0.5	1	1	1.5	1	1	7.5
4	1	0.5	1	1	1	0.5	1	6
5	1	0.5	0.5	1	1	0.5	1	5.5
6	1.5	1.5	1	1.5	1.5	1	1	9
7	1	1	1	1	1	1	1	7
								Σ=49

Определим значимости функций делением частного итога по функции на общую сумму.

Результаты в таблице 4.

Таблица 4.

Функция	Значимость
1	0.122
2	0.163
3	0.153
4	0.122
5	0.112
6	0.184
7	0.142

Проведем анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования в таблице 5.

Таблица 5.

Наименование детали	К _д	Н _р , шт	Т _р , нормо-ч	С _м , руб.
1. Микроконтроллер	1	1	1	350
2. Микросхема памяти	1	1	0.3	300
3. Преобразователь USB-UART	1	1	1.5	200
4. Клавиатура	1	1	0.2	170
5. Дисплей	1	1	0.2	400
6. Система питания	1	1	1	500
7. Плата	1	1	2	20
				Σ=1940

Где:

К_д – количество деталей на узел;

Н_р – норма расхода;

Т_р – трудоемкость детали, нормо-ч;

С_м – стоимость материала;

З_п – заработная плата;

С_с – себестоимость;

1.1. Оценка готовности проекта к коммерциализации

Таблица 6.

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний разработчика у
1. Определен имеющийся научно-технический задел	3	2
2. Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	3
3. Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5
4. Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	2	3
5. Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	2
6. Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7. Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8. Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9. Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10. Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
11. Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12. Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13. Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14. Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
Итого	28	29

По данным в таблице 6 можно сделать выводы, что перспективность данной разработки к коммерциализации ниже среднего. Необходима большая проработка теоретических вопросов и привлечение специалистов в области морских технологий.

2. Инициация проекта

Заинтересованные стороны проекта

Основными заинтересованными сторонами данного проекта являются все производители продукции из металлов или металлических сплавов (машиностроительные предприятия, инструментальные заводы, ремонтные предприятия, подшипниковая промышленность и т.п.) и кафедра промышленной и медицинской электроники НИ ТПУ. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 5.

Таблица 7 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Кафедра ПМЭ НИ ТПУ	Быстрый экспресс-контроль, высокая надежность, проникновение на рынок
машиностроительные предприятия, инструментальные заводы, ремонтные предприятия, подшипниковая промышленность и т.п.)	Быстрый экспресс-контроль, простота эксплуатации, точность измерений.

В таблице 8 представлена информация о иерархии целей проекта и критерии их достижения.

Таблица 8 - Цели и результат проекта

Цель проекта:	Исследовать прибор «Термотест» на наличие дестабилизирующих факторов.
Ожидаемые результаты проекта:	Повышение достоверности и повторяемости контроля металлов и сплавов методом дифференциальной термо-ЭДС, температура датчика должна поддерживаться 130 ⁰ С
Критерии приемки результата проекта:	Температура датчика, экспресс-контроль, переходной процесс
Требования к результату проекта:	Требование:
	Осуществление экспресс-контроля за 1 сек.
	Температура датчика 130 ± 3 ⁰ С
	Переходной процесс не должен превышать 0,5 сек

Организационная структура проекта

Определим рабочую группу данного проекта, определим роль каждого участника в данном проекте, функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Данная информация представлена в таблице 9.

Таблица 9 - Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1	Солдатов Андрей Алексеевич, к.т.н., доцент, кафедра ПМЭ ИНК НИ ТПУ.	Руководитель проекта	Координирует деятельность магистра, отвечает за реализацию проекта	288
2	Обач Игорь Игоревич, магистрант, кафедры МПЭ ИНК НИ ТПУ группа 1AM41	Исполнитель по проекту	Выполнение работ по проекту: монтаж, расчеты, сборка, программирование, анализ результатов.	2640
ИТОГО:				2928

3. Планирование управления научно-техническим проектом

3.1. Приведем иерархическую структуру работ на рисунке 1

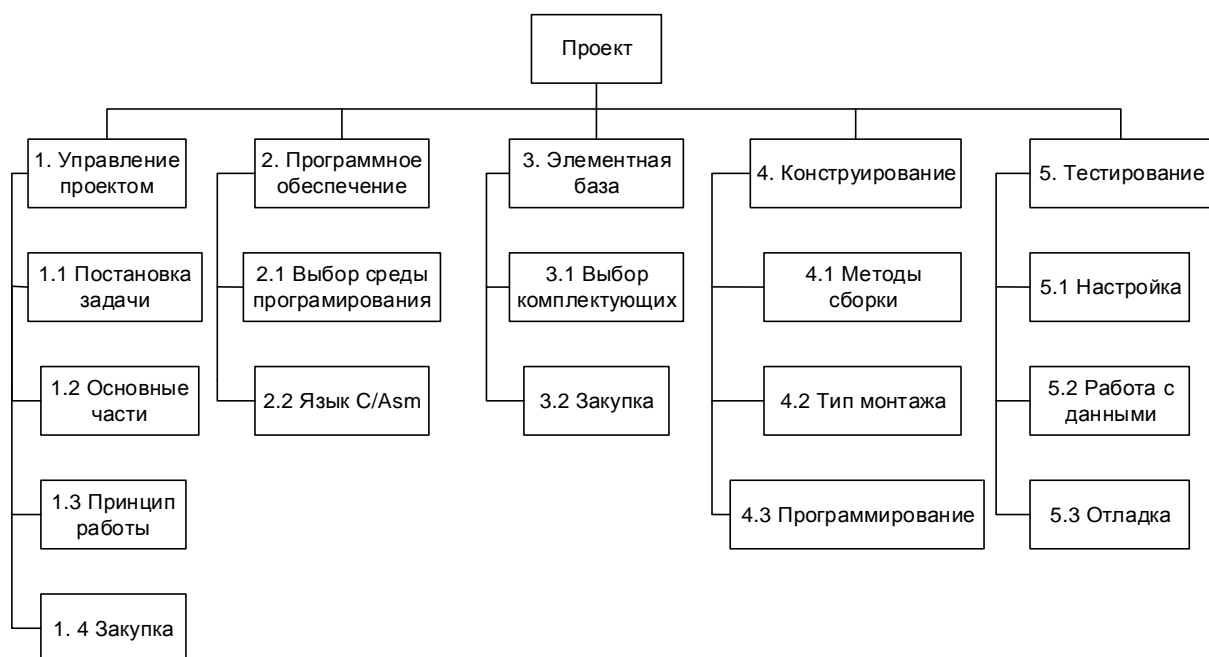


Рис. 1

3.2 Контрольные события проекта

Таблица 11.

Контрольное событие	Дата	Результат (документ)
Определить принцип действия устройства	1.12.15	Отчет
Определить основные части устройства	1.02.16	Структурная схема
Закупка элементов	24.02.16	
Полный состав устройства	25.02.16	Принципиальная схема
Работающий макет	20.03.16	

3.3 План проекта

При планировании работ по дипломному проекту составляется перечень работ, необходимых для достижения поставленных задач, определяются исполнители каждой работы, устанавливаются продолжительности работ в рабочих днях, строится график.

Перечень работ. Все этапы разработки должны быть упорядочены во времени. Нужно установить последовательность работ, являющуюся особо рациональной с точки зрения минимальных затрат времени на осуществление всего комплекса работ в создании устройства. Определение состава работ и







исполнителей проводилось самостоятельно. Длительность этапов работ получена на практике (В строгом соответствии с ТЗ):

Таблица 12 - Календарный план проекта

№	Название	Длительность, дни	Начало работ	Окончание работ	Участники
1.1	Постановка задачи	16	15.11.15	1.12.15	Обач И.И. Солдатов А.А.
1.2	Поиск и работа с технической литературой	20	1.12.16	20.12.16	Обач И.И. Солдатов А.А.
1.4	Изучение устройства	14	10.02.16	24.02.16	Обач И.И. Солдатов А.А.
2.	Исследование источников термоЭДС	67	20.12.16	10.02.16	Обач И.И.
4.	Составление мат.модели	24	25.02.16	20.03.16	Обач И.И.
5.	Тестирование, настройка, отладка	56	20.03	15.05.16	Обач И.И.
	Итого:	183			

Календарный план-график проведения НИОКР по проекту

Таблица 13.

№	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал. д.	Продолжительность выполнения работ																				
				Ноя.			Дек.			Янв.			Фев.			Март			Апр.			Май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1.1	Постановка задачи	Обач И.И. Солдатов А.А.	16																					
1.2	Поиск и работа с технической литературой	Обач И.И. Солдатов А.А.	20																					
1.4	Изучение устройства	Обач И.И. Солдатов А.А.	14																					
2.	Исследование источников термоЭДС	Обач И.И.	67																					
4.	Составление мат. модели	Обач И.И.	24																					
5.	Тестирование, настройка, отладка	Обач И.И.	56																					

3.4 Бюджет научного исследования

Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Таблица 14.

Наименование детали	Название	К _д	Цена за единицу, руб
1. Микроконтроллер	ATmega32A	1	350
2. Микросхема памяти	LIS3DHTR	1	300
3. Преобразователь USB-UART	FT232BL	1	200
4. Клавиатура	DS-1337Z	1	170
5. Дисплей	LCD	1	400
6. Система питания	DC	1	500
7. Плата	текстолит двусторонний	1	20
Итого:	1940 руб.		

Основная заработная плата

Рассчитывается по следующим формулам:

$$C_{3П} = 3_{ОСН} + 3_{ДОП} \quad (2)$$

$$3_{ОСН} = 3_{ДН} \cdot T_{раб} \quad (3)$$

$$3_{ДН} = \frac{3_M \cdot M}{F_D} \quad (4)$$

$$3_M = 3_6 \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (5)$$

$$3_{ДОП} = k_{доп} \cdot 3_{ОСН} \quad (6)$$

Баланс рабочего времени

Таблица 15.

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365

Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	104
- праздничные дни	11	11
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	28
- невыходы по болезни	—	—
Действительный годовой фонд рабочего времени	255	227

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} \cdot k_{\text{р}} \quad (7)$$

где $З_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Для старшего преподавателя базовый оклад составляет 20389,99 руб , для магистра базовый оклад составляет 6595,7 руб. Найдем месячный должностной оклад работника:

Для научного руководителя:

$$З_{\text{м}} = 20389,99 \cdot 1,3 = 26506,987 \text{ руб}$$

Для магистранта:

$$З_{\text{м}} = 6595,7 \cdot 1,3 = 8574,41 \text{ руб}$$

Среднедневная заработная плата:

Для научного руководителя:

$$З_{\text{дн}} = \frac{26506,987 \cdot 10,4}{255} = 1081,06 \text{ руб}$$

Для магистранта:

$$З_{\text{дн}} = \frac{8574,41 \cdot 10,4}{227} = 390,5 \text{ руб}$$

Основная заработная плата:

С учетом того, что научный руководитель был занят при разработке 38 дней, а магистрант 118, была найдена основная заработная плата

Расчёт основной заработной платы

Таблица 16.

Исполнители	З _б , руб.	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Обач И.И.	6595,7	9069.79	415.5	118	49029
Солдатов А.А.	20389,99	26506.98	1081.06	38	41308.28

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Результаты расчета основной и дополнительной заработной платы приведены в таблице 17.

Таблица 17.

Заработная плата	Обач И.И.	Солдатов А.А.
Основная, руб	49029	41308.28
Дополнительная, руб	7354,35	6196
Общая, руб	56383.35	47504,29
Итого	117437	

Отчисления на социальные нужды

Отчисления во внебюджетные фонды составляют 30% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.9)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), которая составляет 30%.

$$C_{\text{внеб}} = 35231,1$$

Таблица 18 - Налоговые отчисления во внебюджетные фонды

Наименование	Сумма (руб.)
Фонд заработной платы	117437
Отчисления во внебюджетные фонды	35231,1

Накладные расходы

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих

в выполнение темы, в данном случае величина накладных расходов составляет 80%.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (8)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы – 93949,6 руб.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости прибора «Термотест» по форме, приведенной в таблице 19.

Таблица 19 - Группировка затрат по статьям

Статьи	Вид работ
Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	1940
Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	0
Основная заработная плата	90337
Дополнительная заработная плата	13550
Отчисления на социальные нужды	35231,1
Научные и производственные командировки	0
Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	0
Накладные расходы	93949,6
Итого плановая себестоимость	235006

4. Оценка сравнительной эффективности исследования

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Таблица 20.

Интегральный показатель эффективности разработки и аналога определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формулам:

(12)

$$I_{\text{финир}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} \quad (13)$$

$$I_{\text{финир}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

(14)

$$\Xi_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финир}}^p}{I_{\text{финир}}^a}$$

Сравнительная эффективность разработки

По результатам анализа текущий проект эффективнее аналога 1 в 1.62 раза, а по сравнению с аналогом 2 в 3.33 раза.

Список публикация

1. Обач И.И., Абуеллаиль А.А., Солдатов А.А., Солдатов А.И., Сорокин П.В. Проблемы шероховатости при контроле металлов термоэлектрическим методом// Информационно-измерительная техника и технологии: сборник научных трудов VII Научно–практической конференции с международным участием, Томск: ТГУ, 25–28 мая 2016 г.
2. Обач И.И., Абуеллаиль А.А., Солдатов А.А., Солдатов А.И. Изучение контактных характеристик термоэлектрическим методом // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность материалы VI Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, ТПУ, 23–27 мая, 2016 г.
3. Обач И.И., Абуеллаиль А.А., Сорокин П.В. Исследование электрических характеристик источников термоЭДС// Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием, Томск: ТПУ, 12– 14 апреля 2016 г. с 116–121
4. Обач И.И., Абуеллаиль А.А., Солдатов А.А., Солдатов А.И., Сорокин П.В. Modern problems of thermoelectrical testing // Информационно-измерительная техника и технологии: сборник научных трудов VII Научно–практический форум с международным участием, Томск: ТГУ, 25– 28 мая 2016 г.